

**Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok (OTKA T/15, F/12)**

**OTKA nyilvántartási szám: T 042552**

**2003-2005**

**MEGNÖVELT TÉRBELI MINTAVÉTELEZÉSŰ  
SZEIZMIKUS REFLEXIÓS MÉRÉSEK  
FELDOLGOZÁSA**

**Kutatási zárójelentés**

**† Dr. Ádám Oszkár**

**Dr. Scholtz Péter**

**Dr. Nyári Zsuzsanna**

**Gömböcz Lajos**

**2006. február 28.**

**ELGI**

**M. Áll. Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, 1145 Budapest Kolumbusz u. 17-23.**

## I. CÉLKITŰZÉSEK

A közös mélységpontos reflexiós szeizmikus mérési módszer technikai eszközeinek fejlettségi szintje – a mérőműszerek csatornaszámának nagyságrendi növekedésével – a csoportosítás elhagyásával érzékelő oldalon már lehetővé teszi a térbeli mintavételezés helyes megválasztását. Mivel a forrásoldali csoportosítás felszíni vibrátoros jelgerjesztés esetén általában nem küszöbölhető ki, így elsősorban a jelszétválasztáshoz is szükséges forrás jelalak megismerését céloztuk, mert a jelenleg használt módszerek nem adnak megfelelő adatokat a torzított hullámforrás felharmonikus tartalmára. További lehetőség a zavarhullámok tökéletesebb csillapítása pont forrás és egyedi érzékelők jelein, így kutatásainkban új mérési módszerek és adatfeldolgozási lehetőségek kidolgozását kívántuk megvalósítani.

Ennek eléréséhez egy korábbi, a konvolúciós hatásokat eltávolító módszer kiterjesztését céloztuk, mely geofonokon és vibrátoron mérhető jelek amplitúdó- és fázisviszonyait teszi vizsgálhatóvá, melyek tisztán a forrásra jellemzőek. Kísérleti szeizmikus reflexiós és lyukbeli mérést terveztünk és végeztünk el több területen, mely egyedi érzékelőkkel való adatrögzítést igényelt, referencia geofoncsoport mellett. A mérések összehasonlíthatóvá tették a felszíni terítés jeleit a mélyben elhelyezett érzékelők, illetve a vibrátoron elhelyezett gyorsulásmérők jeleivel. A kutatás eredményeképpen azt vártuk, hogy a vibrátoros forrás jelgerjesztéséről kapunk adatokat, különös tekintettel a felharmonikus tartalomra. A vizsgálatok eredményei alapján további cél volt a valódi földterő közelítő meghatározására egy olyan új módszer alapjainak lerakása, mely a felharmonikus tartalom szempontjából is megfelelően működik, és alkalmas lehet determinisztikus dekonvolúciós eljárásban való hasznosításra, a korrelációs technika felváltására.

A zavarhullámok tanulmányozása alapján szűrőkre eljárások kidolgozását terveztük, hogy egy sebesség diszperziót is figyelembe venni képes zavarhullám szűrő módszerhez jussunk.

Eredményeink a Föld belső felépítésének megismeréséhez nyújthatnak pontosabb eszközöket, amit mind a tudományos közösség, mind pedig a nyersanyagkutatók alkalmazhatnak.

## II. ELŐZMÉNYEK

A szeizmikus kutatások általánosan használt módszere a közös mélységpontos reflexiós mérési eljárás, amelytől mind kifinomultabb eredményeket várnak a pontosabb földtani információk megszerzéséhez. Egy előrelépési terület lehet a szeizmikus hullámtér teljesebb leképezése.

A szeizmikus hullámok kellő sűrűségű időbeli mintavételezettsége megoldott, viszont a térbeli mintavételezettség nem tökéletes, hiszen a rutinszerűen végzett szeizmikus reflexiós méréseknél az egyidejűleg jelet szolgáltató érzékelőket csoportokba szervezve, jelüket sorba, illetve párhuzamosan kötve, az információ egy része elvész, a felbontóképesség csökken. A csoportosítás elhagyásával legalább egy nagyságrenddel nagyobb számú csatorna egyidejű rögzítése szükséges, amit a jelenlegi technikai szint már elérhetővé tesz.

A vibrátoros mérések esetén a termelékenység fokozása, a kellő nagyságú energia bevitele, a felszíni zavarhullámok és egyéb környezeti zajok szűrése céljából forrásoldali csoportosítást is alkalmaznak. A csoportosítás ezen az oldalon sem ideális a felbontóképesség gyengülése miatt, elhagyása viszont termelékenységi okokból nem indokolt.

Az egyedi, vagyis pontszerű források pontszerű érzékelőkön mérhető jeleinek ismerete számos előnyt hordoz. A csoporton belüli perturbációk, mint a statikus, dinamikus

időeltérések és csatolási különbségek, kiküszöbölhetők. A csoportok jele nem mentes alias hatásoktól, illetve az egyszerű jelösszegzés a zavarhullámok kiszűrésére nem eredményez optimális szűrőt. Utólagos feldolgozási lépésekben jobb hatásfokú zavarhullám-szűrő tervezhető.

Csoportosított rezgéskeltés esetén a pontforrás jelének visszaállítására szóba jöhetnek a kibocsátott jelek kódolásával és valamilyen becslésével működő eljárások, ahol lényeges szerepet kapnak a vibrátorok által ténylegesen kibocsátott jelek, illetve meghatározásuk módszerei. Ekkor azzal az előnnyel is számolhatunk, hogy a vibrátor által kibocsátott tényleges jelet figyelembe véve akár a harmonikus torzítás hatására eddig zajként viselkedő beérkezések is hasznosulhatnak.

A rezgéskeltés elméleti modellezése során általában csak lineáris hatásokat vesznek figyelembe. A megfigyeléseket viszont csak a nemlineáris hatásokat is leíró eljárás képes visszaadni, hiszen a vibrátor szervó-hidraulikus vezérlésében, illetve a talaj - vibrátor rezgőrendszerben lévő nemlineáris hatások miatt a tényleges kimenő jel torzított és felharmonikus jelekkel terhelt.

### III. ELVÉGZETT VIZSGÁLATOK, FEJLESZTÉSEK, KÍSÉRLETI MÉRÉSEK

#### *A szakirodalom áttekintése, módszeradaptálás*

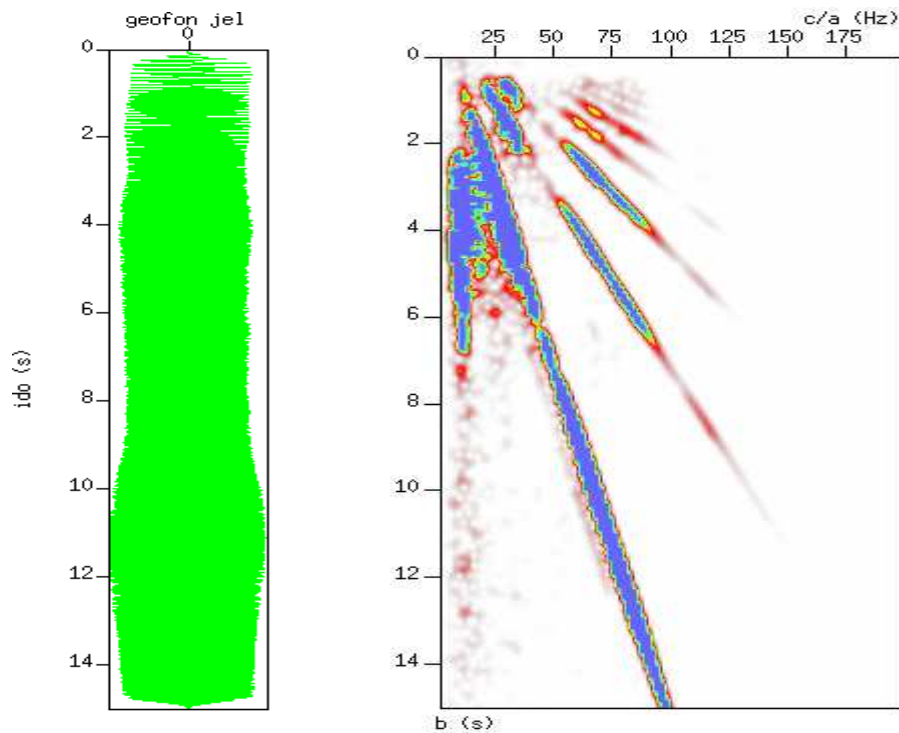
Munkánk során áttekintettük a hagyományos mérésekben használt érzékelő- és forrásoldali csoportosítás hatásait és az egyedi források egyedi érzékelőkkel való észlelésének előnyeit. Bemutattuk a csoportosított források szétválasztására a szakirodalomban javasolt néhány módszer elméleti alapjait. Egy korábbi mérés terepi adatain demonstráltuk a HFVS (High Fidelity Vibratory Seismic) módszerrel történő forrásjel-szétválasztás eredményét, összevetve a szeparáció nélküli, hagyományos technikával.

Tárgyaltuk a változó frekvenciájú jelek vizsgálatához használt módszerek fejlődését, melyekben az elemihullám transzformáció (Wavelet Transformation) teremti meg több megközelítés egyesített leírását. Szintetikus adatok segítségével bemutattuk az elemihullám transzformáció működését az általánosan használt Morlet-féle elemihullámmal.

#### *Elemihullám transzformációs analízáló módszer kidolgozása*

A szakirodalomban többek által javasolt, de csak elméletileg tárgyalt speciális elemihullám felhasználására módszert dolgoztunk ki és megvizsgáltuk alkalmazhatóságát. A speciális elemihullám egy lineárisan változó pillanatnyi frekvenciájú jel által modulált Gauss-típusú függvény, mely különösen alkalmas a változó frekvenciájú vibrojelek analízálására (**1. ábra**). Segítségével közvetlenül kapunk információt a frekvenciaváltozás sebességéről is, amit szintetikus példákon igazoltunk.

Kidolgoztunk egy, az elemihullám transzformáción és frekvenciatartománybeli osztáson alapuló, feldolgozási eljárást, amellyel eltávolíthatók a szeizmikus jeleket terjedésük és mérésük során érő ismeretlen konvolúciós hatások és így a forrásra jellemző tényleges amplitúdó- és fázisviszonyok tanulmányozhatóvá válnak.

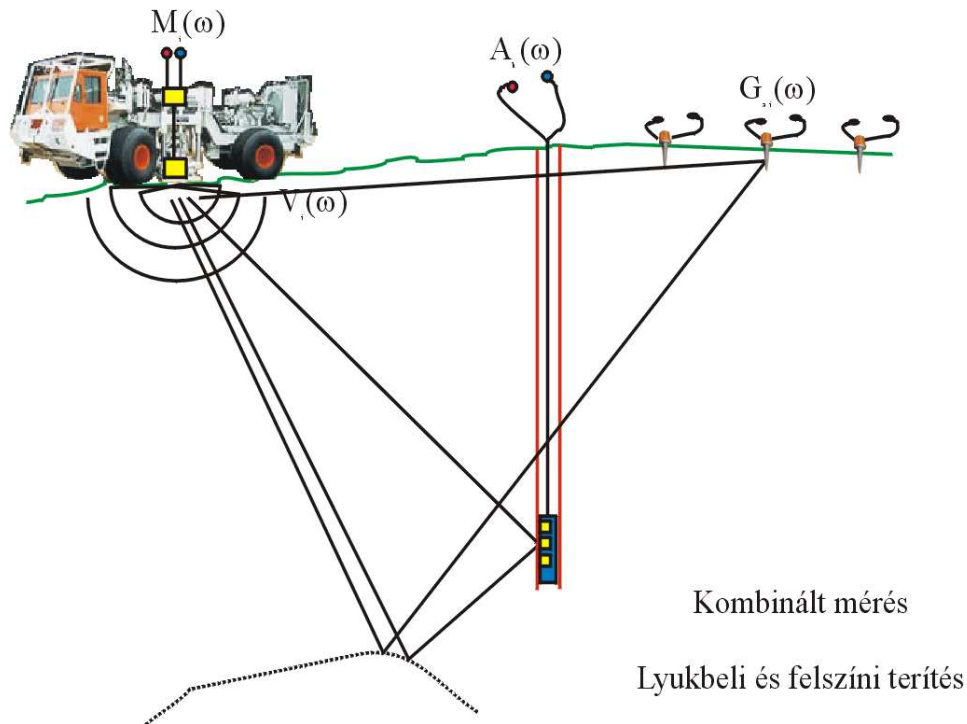


**1. ábra. Egy vibrátorhoz közeli geofon korrelálatlan jele (balra) és elemihullám transzformációja által nyert amplitúdó kép az idő - frekvencia síkon (jobbra)**

#### *Kísérleti mérések és az adatok feldolgozása, értelmezése*

Kidolgozásra került a jövőbeni reflexiós mérésekhez közelítő kísérleti elrendezés, ahol a felszínen elhelyezett geofonokon észlelhető direkthullám beérkezések nyújtanak segítséget a vibrátor által ténylegesen kibocsátott jel analíziséhez. Több helyszínen kísérleti reflexiós szeizmikus mérést hajtottunk végre és a mérés adatait vizsgálva ellenőriztük, hogy az analízáló módszer valóban kiszűri-e a konvolúciós hatásokat. Meghatároztuk a vibrátoros forrásra jellemző, annak tényleges kimenő jelében a harmonikus torzítás által létrejött felharmonikus hullámok amplitúdó- és fázisviszonyait az alapharmonikus jelhez képest. Összevetettük a geofonok jelén számított arányokat a vibrátoron mérhető gyorsulási adatok és a számított földérő jel arányaival, majd vizsgáltuk, hogy a számított földérő jel, illetve a korábban visszacsatolási jelként is használt gyorsulási adatok harmonikus komponensei milyen amplitúdó- és fázisviszonyokkal rendelkeznek. A harmonikus komponensek összevetése a számított földérő-közelítés jóságáról nyújtott információkat.

Fúrólukbeli érzékelőkön és felszíni terítésen egyidejű mérést végeztünk vibrátoros rezgéskeltés mellett (**2. ábra**). A GES kft.-vel együttműködve előkészített kísérleti VSP mérés során egy szeizmikus mérőberendezés rögzítette a felszíni terítésnek és a lyukbeli érzékelőknek a jeleit. A költségek csökkentése miatt ipari méréssel kombinált mérés adatai a hullámforrás ismeretéhez szolgáltatott adatokat és összehasonlíthatóvá tette a felszíni terítés jeleit a mélyben elhelyezett érzékelőkével. A kísérleti lyukbeli mérés adatainak feldolgozása lehetővé tette a forrásra jellemző amplitúdó és fázisviszonyok meghatározását mind a felszíni, mind pedig a mélybeli érzékelők elsőbeérkezése alapján.



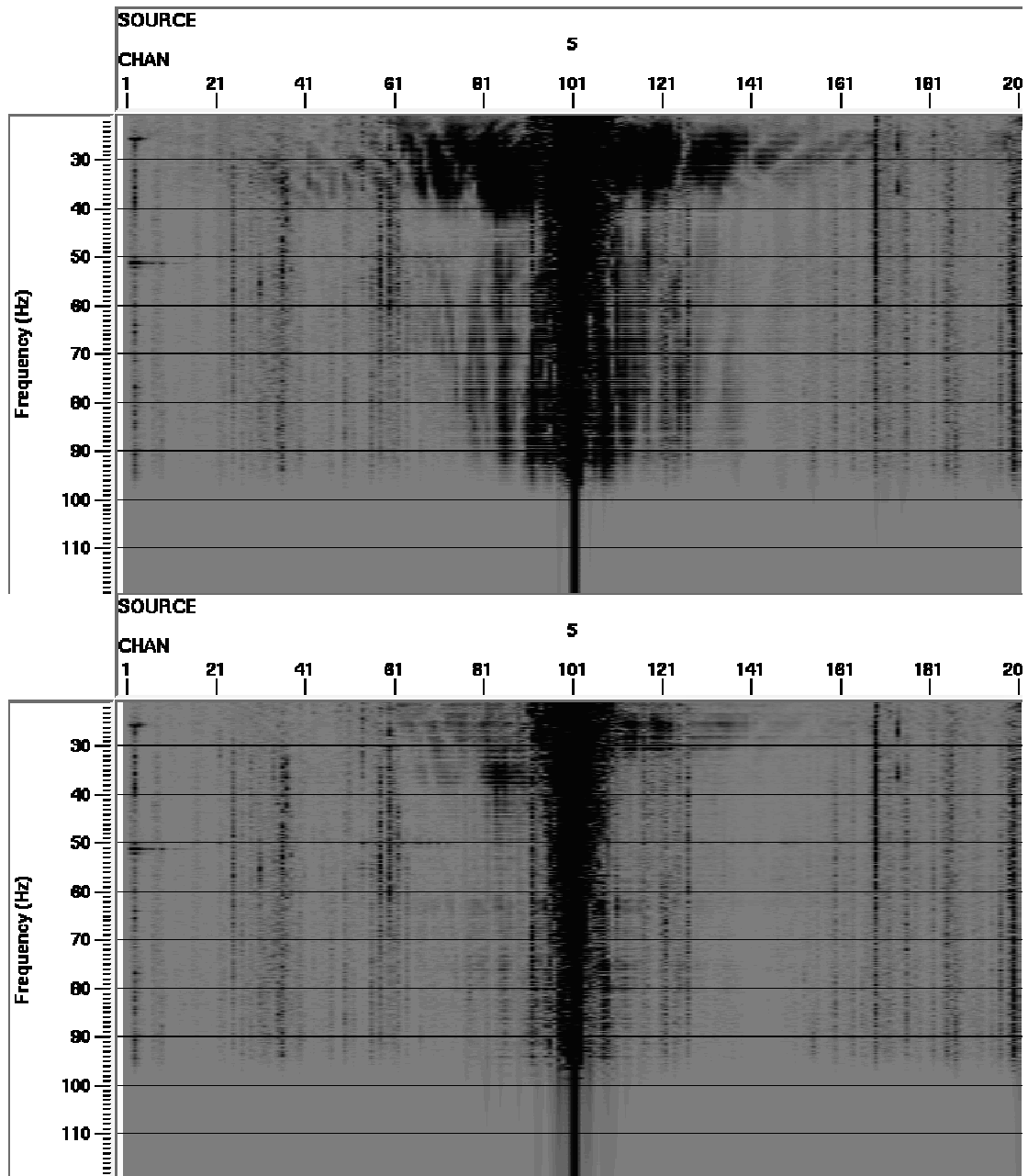
**2. ábra. Kísérleti lyukbeli mérés felszíni terítéssel kombinálva**

#### *A tényleges forrásjel meghatározásának módszere*

Mivel a geofonok jeleiből csak relatív amplitúdó- és fázisviszonyokat sikerülhetett meghatározni, javaslatot tettünk két módszerre, mely kombináció útján nyeri a valódi földérő jelet. Egy egyszerűbb eljárásban a vibrátoron mérhető gyorsulási adatokból számított földérő alapharmonikus komponensének érvényességét feltételeztük és egy korrelációt, majd annak inverzét tartalmazó technikát alkalmazva elkülönítettük. Egy hasonló eljárás után a geofonok jeleiből kapott felharmonikusokat dekonvolváltuk az alapharmonikus komponenssel. A két adatrendszer kombinálva egy olyan földérő jel állt elő, mely felharmonikus tartalmában a tényleges viszonyokat tükrözi, az alapharmonikusa pedig, a jó közelítést nyújtó, számított földérő jeltől származik. A másik eljárás a felharmonikus komponensek nagyobb frekvenciáit is hasznosítja, a páros sorszámú komponensek érvényességét is feltételezve.

#### *A forrásjel meghatározási módszer működésének igazolása mérési adatokon*

A kísérleti mérések adatain elvégeztük a földérő jel kombinált meghatározását az egyszerűbb eljárással. Az így nyert adatokat összehasonlítottuk az eddig elfogadott, a vibrátoron mérhető jelekből számított földérő jel, illetve a geofonok jeleivel kombinált és meghatározott forrásjel amplitúdó- és fázisviszonyaival. Egyedi felvételek korrelációs (elméleti vibrojel) és determinisztikus dekonvolúciós (hagyományos és az új földérő jel) előfeldolgozásával vizsgáltuk a felharmonikus komponensek okozta zaj megjelenését és így a forrásjel szétválasztáson alapuló mérések kivitelezhetőségét (**3. ábra**).



**3. ábra. Amplitúdó spektrum a negatív időtartományban a determinisztikus dekonvolúció végrehajtása után. A vibrátoron mérhető földérő, mint vibrojel (fenn) és a geofonok jelei felhasználásával meghatározott forrásjel felhasználásával (lenn).**

### *Zavarhullám szűrő kidolgozása*

Az érzékelő oldali és a forrásoldali csoportosítás elhagyása, illetve a forrásjel szétválasztása esetén már térben is mintavételezett szeizmikus hullámtér egyik lényeges zajkomponensének szűrésére eljárást dolgoztunk ki. A zavarhullámok gyengítésére alkalmas módszerek lehetnek a frekvencia-hullámszám szűrés (FK szűrés), hullámszám szűrés (K szűrés), a diszperziót figyelembevevő sebesség szűrés mellett egyéb sebességszűrések. Bár ezek a módszerek jelenleg is használatosak, az aliasing hatás miatt alkalmazhatóságuk elméletileg is korlátozott. Olyan sebességszűrő eljárást valósítottunk meg,

ami akár két egymáshoz közeli csatornán is képes dolgozni, valamint alkalmas az esetleges frekvenciafüggő sebességváltozások követésére (diszperzió). Az algoritmus alapelve az, hogy két (vagy  $n$ ) szomszédos csatornán feltételezünk egy végtelen látszólagos sebességű beérkezést (pl. reflexió), illetve egy bizonyos  $v(f)$  sebességfüggéssel jellemezhető zavarhullámot. A módszer hatékonyságát szintetikus példákon teszteltük.

#### *A kutatások műszeres és szoftveres háttere*

Az adatok vizsgálatához és feldolgozásához, valamint az ábrák elkészítéséhez a ProMAX és a Seismic Unix programrendszer moduljait, valamint ahhoz illeszkedő saját fejlesztésű programokat használtunk. A méréseket az ELGI és a GES Kft. műszerparkja támogatta (vibrátorok, ESS, MDS-18, ...).



**4. ábra. Terepi mérés: vibrátor és műszer kocsi**

## **IV. EREDMÉNYEK**

1. Eljárást dolgoztunk ki Morlet ötlete nyomán egy speciális elemihullám - a lineárisan változó pillanatnyi frekvenciájú jellel modulált Gauss-típusú függvény - felhasználásával végezhető elemihullám transzformációra, vibrátorjelek és diszperz beérkezések analizálására. Algoritmust és programot fejlesztettünk ki a módszer alkalmazásához, mely idő, frekvencia és frekvenciaváltozási sebesség szerint 3D teret eredményez. Az eljárás felhasználhatóságát szintetikus adatokon vizsgáltuk.
  - a) Megállapítottuk, hogy a módszer ott hatásos, ahol az analizált jel lokálisan közelíthető a lineárisan változó pillanatnyi frekvenciájú jellel. A Morlet-típusú alapjellel összevetve ekkor jobb felbontóképességet értünk el és az eredmény zajhatásokra érzéketlenebbé vált.
  - b) Az általunk kidolgozott analizáló módszer közvetlenül ad információt a vizsgált jel frekvenciaváltozási sebességére, mely független paraméterként kerül meghatározásra a 3D tér maximális amplitúdójú pontjainak kijelölésével.
2. Kidolgoztunk egy feldolgozási eljárást, mely szeizmikus jelek különböző frekvenciaváltozási sebességgel és beérkezési idővel rendelkező harmonikus

komponenseit szétválaszthatóvá teszi és kiszűri a szeizmikus hullámok harmonikus komponenseit terjedésük és mérésük során érő ismeretlen konvolúciós hatásokat. A harmonikus komponensek különválasztására az elemihullám transzformációt használtuk, ahol szerepet kaphat az 1. pontban bemutatott eljárás. A szétválasztott harmonikus komponenseket frekvenciatartományban egymással osztva kiesnek a komponenseket érő ismeretlen szűrőhatások és a módszer eredményeképpen a forrás harmonikus komponenseire jellemző relatív amplitúdó- és fázisviszonyok határozhatók meg. Az eljárás megvalósítására algoritmust és programot fejlesztettünk ki.

3. Terepi észlelési rendszert terveztünk, mely a jövőbeni reflexiós mérésekhez közelít. Az észlelési rendszerrel elvégzett kísérleti mérés adatai alapján megállapítottuk, hogy a felszínen elhelyezett geofonokon mérhető direkthullám beérkezések alkalmasak a vibrátor által ténylegesen kibocsátott jel vizsgálatához, amit a 2. pontban ismertetett eljárással végeztünk el.
  - a) A kísérleti mérés adatain bizonyítottuk, hogy a kifejlesztett és a 2. pontban ismertetett analízis módszer eltávolította a direkthullámokat érő ismeretlen konvolúciós hatásokat, hiszen a forrásfüggvény relatív amplitúdó- és fázisviszonyait, bár zajjal terhelt, de észlelési távolságtól és érzékelőtől független módon adta meg.
  - b) Többcsatornás zajszűrés eredményeképpen, amit minden frekvencián a 2. pont módszere által szolgáltatott adatok medián értékeinek meghatározásával végeztünk, meghatároztuk a vibrátoros forrásra jellemző, annak tényleges kimenő jelében, a harmonikus torzítás által létrejött felharmonikus hullámok amplitúdó- és fázisviszonyait az alapharmonikus jelhez képest. Az adott kísérletben a negyedik felharmonikusig kaptunk értékelhető eredményt.
4. Összehasonlítottuk és vizsgáltuk a forrásjel relatív amplitúdó- és fázisviszonyait a felszínen elhelyezett geofonok direkthullám beérkezései, a vibrátor gyorsulási adatai, valamint a számított földérő jel alapján, amit a relatív amplitúdó- és fázisviszonyokat leíró frekvenciafüggő görbék korrelációs együtthatóinak számításával támogattunk.
  - a) Bebizonyítottuk, hogy az adott kísérleti elrendezésben a 2. pontban ismertetett módszer a direkthullám beérkezéseken kimutathatóvá tette az irodalomból ismert összefüggést, miszerint az alapharmonikus komponens egy ismeretlen amplitúdó szorzó és fázistoló konstanstól eltekintve mind a vibrátoron, mind pedig a geofonon mérve hasonló amplitúdó- és fázisviszonyokkal rendelkezik, vagyis az alapharmonikus komponensre nézve a számított földérő felhasználható a távoli jel meghatározásához.
  - b) A kísérleti mérés adatain elvégzett analízis eljárás alapján megállapítottuk, hogy a felharmonikus komponensek közül csak a páros sorszámúak esetében igaz a távoli jel közelítésére a számított földérő felhasználhatósága. A számított földérő páratlan sorszámú felharmonikusai jelentősen eltérő tulajdonságokkal rendelkeznek a geofonjelek alapján meghatározott valódi forrásjelhez képest, vagyis a vibrátoron nem mérhető a tényleges teljes kimenő jel.
  - c) Megállapítottuk, hogy csupán a vibrátoron mérhető gyorsulási adatok alapján is következtetni lehet a valódi forrásjel és a számított földérő jel páratlan sorszámú felharmonikus komponenseinek eltérésére, mert ekkor a vibrátor talpának, reaktív



tömegének és a számított földérő jelnek relatív amplitúdó- és fázisviszonyai nem egyeznek meg. A páros sorszámú felharmonikus komponensek esetében viszont megegyeznek.

5. Felhasználva a 4. pont megállapításait, két új módszert dolgoztunk ki, melyek kombináció útján a felharmonikus komponenseket is jól közelítő tényleges földérő jel számítását eredményezik.
  - a) Algoritmust és programot fejlesztettünk ki egy egyszerűbb eljárásra, ahol csak a vibrátoron mérhető gyorsulási adatokból számított földérő alapharmonikus komponensének érvényességét feltételeztük. Javaslatot tettünk továbbá egy másik módszerre is, ami hasznosítja a felharmonikus komponenseknek, az alapharmonikus komponensnél nagyobb frekvenciáit is, a vibrátoron mérhető gyorsulási adatokból számított földérő páros sorszámú felharmonikus komponensei érvényességének feltételezésével. A módszerekben a geofonokon mérhető relatív adatokat kombináltuk a vibrátoron mérhető érvényesnek tekintett jelekkel.
  - b) Az egyszerűbb eljárással elvégeztük a kísérleti mérés adatain a földérő jel kombinált meghatározását és megállapítottuk, hogy a 2. pont analízáló eljárása segítségével összehasonlítva a kombináció útján nyert földérő jel, a vibrátor gyorsulási adataiból számított földérő jel, illetve a geofonjelekből meghatározott forrásjel amplitúdó- és fázisviszonyait, a kombináció eredményeképpen a felharmonikus tartalmat jobban leíró földérő közelítéshez jutottunk, amit a korrelációs együttható értékei is bizonyítanak.
  - c) A fúrólyukbeli és a felszíni terítés együttes alkalmazásával végzett kísérleti mérés során nyert adatok kiértékelésével megállapíthatóvá vált, hogy a felszín közelében terjedő direkthullámokra érvényes amplitúdó- és fázis-viszonyok a lefelé haladó hullámokra is érvényesek. A földérőjel meghatározás tehát a tényleges forrásjelet eredményezi, így a reflexiók beérkezései feldolgozásához alkalmazhatók
6. A kísérleti mérések nyers, korrelálatlan felvételeit az újszerűen meghatározott forrásjellel való determinisztikus dekonvolúcióval feldolgoztuk és összehasonlítottuk az eredményt a hagyományos korrelációs (elméleti vibrojel) technikával és a korábban elfogadottnak tekintett (a vibrátoron elhelyezett gyorsulásmérők adatai alapján) földérő jellel való dekonvolúcióval. Bebizonyosodott, hogy az újszerű (kombinációs) földérőjel meghatározás eredményeképpen kapott forrásjel kisebb felharmonikus zajmaradványt eredményez, vagyis teljesebb mértékben hasznosulhat jelként a vibrátor által kibocsátott torzított forrásjel.
7. A térben helyesen mintavételezett zavarhullámok szűrésére sebesség diszperziót is figyelembe vevő sebesség szűrő alkalmazási elvét változtatva többféle érzékenységgű szűrési eljárást fejlesztettünk ki. A módszerek alkalmazhatóságát szintetikus és valós adatokon teszteltük. Bebizonyosodott, hogy gyakorlati szempontból zavarhullám terjedési sebességváltozásaira kevésbé érzékeny módszer az ígértesebb. Ezek a vizsgálatok, fejlesztések további munkát igényelnek.

## V. EREDMÉNYEK HASZNOSÍTÁSA

Az elemihullám transzformáció speciális alaphullámmal való elvégzésének módszere felhasználási területét a diszperz beérkezések idő - frekvencia analízise jelentheti, ha az analizált jel lokálisan közelíthető a lineárisan változó pillanatnyi frekvenciájú alapjellel. A lineárisan változó pillanatnyi frekvenciájú vibrátorjeleknél természetes módon teljesül a hasonlóság, így a jobb felbontóképesség és a módszer zavaró hatásokra kevésbé érzékeny volta indokolhatja használatát.

A vibrátorjelek analízisére kidolgozott, az ismeretlen konvolúciós hatásokat kiszűrő, analízáló eljárás minőségellenőrzési feladatokban is szerepet kaphat, amennyiben a hagyományos méréseknél zajként viselkedő tényleges felharmonikus tartalmat képes meghatározni.

A kísérleti mérés - mely a jövőbeni ipari mérésektől csak csekély mértékben tér el - adatai alapján a valódi forrásjel harmonikus komponenseiről megfogalmazott megállapítások több új, a valódi földerőt jobban közelítő, meghatározási módszer kifejlesztését tették lehetővé. A dolgozat eredményei hozzájárulhatnak a csoportosított vibrátoros mérések jelei szétválasztásának tökéletesítéséhez és a korrelációs technikát felváltó, determinisztikus dekonvolúciót alkalmazó eljárások felhasználásához. A pontszerű érzékelővel rögzített pontforrás valódi kimenőjelét alkalmazó mérés technikák felbontóképességet növelő képessége nagy termelékenységgel együtt elérhetővé válik.

Az eredmények iránt számos intézet, vállalat mutat érdeklődést. Jelenleg egy több résztvevős nemzetközi pályázatban az EU támogatását kívánjuk megszerezni a szükséges további kutatások végrehajtására.

## VI. A KUTATÁS SORÁN KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓK

- SCHOLTZ, P., 2003, Constructing an output signal estimate of a vibratory source, 65<sup>th</sup> EAGE Conference, Extended Abstracts, P233, Stavanger
- SCHOLTZ, P., 2003, A vibrátor tényleges erőhatásának rögzítése által lehetővé tett mérési, feldolgozási módszerek vizsgálata, Nemzetközi Geofizikai-Földtani-Fluidumbányászati-Környezetvédelmi Vándorgyűlés/Konferencia és Kiállítás, Szolnok
- SCHOLTZ, P., 2004, Vibrátorjelek analízise megnövelt felbontóképességű reflexiós szeizmikus mérések adatfeldolgozásához, Doktori Értekezés
- SCHOLTZ, P., 2004, Validating the basic assumptions in a vibratory source signal estimation method, 66<sup>th</sup> EAGE Conference, Extended Abstracts, P295, Paris
- SCHOLTZ, P. and NYÁRI, Zs., 2004, Vibrator source signal estimation by data combination, EAGE Research Workshop on „Advances in Seismic Acquisition Technology”, Rhodes
- SCHOLTZ, P., 2004, 7.1.2.1 Szeizmikus módszertani kutatások: Vibrátoros mérések jelfeldolgozása, ELGI Jelentés 2004
- SCHOLTZ, P., 2005, Reflexiós szeizmikus mérések hatékonyságának és felbontóképességének növelése, PhD eredmények a magyar geofizikában, MTA tudományos előadói ülés, Budapest
- SCHOLTZ, P., 2005, A vibrátor valódi jelének vizsgálata, Geophysical Transactions (közlésre elfogadva)
- SCHOLTZ, P., 2005, 7.1.2.1 Szeizmikus módszertani kutatások: Vibrátoros mérések jelfeldolgozása, ELGI Jelentés 2005
- SCHOLTZ, P., NYÁRI, ZS., GÖMBÖCZ, L., 2006, Vibrátor forrásjel analízis és meghatározás geofonjelek segítségével, Magyar Geofizika (elfogadásra vár)
- SCHOLTZ, P., NYÁRI, ZS., GÖMBÖCZ, L., 2006, Time Series Analysis of Distorted Vibratory Signals, EGU General Assembly 2006, A0286, Vienna